



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경제학 석사 학위논문

산업 별 탄소배출권 할당 및
경제 성장에 미치는 영향 분석

2017년 12월

서울대학교 대학원

경제학 전공

손 수 민

초 록

교토의정서에 근거하여, 한국 정부는 2009년도부터 매 년 탄소배출량의 목표를 설정하였다. 환경부에 따르면 산업 부분에서 2018년도 감축해야하는 탄소배출량은 배출전망치의 13.7% 감축할 예정이다. 이 논문에서는 산업 간 초기 탄소배출권의 할당을 다루고 있다. 협조적 게임에서 유용하게 쓰이는 샤플리 밸류를 이용하여 20개 산업 대상으로 초기 탄소 배출권 할당을 제시하였다. 또한 샤플리 밸류가 안티코아에 속함을 확인하였다.

경제 성장에 미치는 영향을 분석하기 위하여 녹색성장회계를 이용하였다. 또한 협조적 게임에서 널리 쓰이는 비용 배분 방법인 파산 게임의 해를 이용하여 경제 성장에 미치는 영향을 샤플리 밸류의 탄소배출권 할당과 비교하였다.

주요어 : 협조적 게임, 비용배분, 코아(Core), 안티코아(Anti-core), 샤플리 밸류, 탄소배출권

학 번 : 2015-20160

목 차

1 서론	1
2 연구 모형	3
2.1 연구 모형	3
2.2 샤프리 밸류	3
2.3 코아와 안티 코아	4
2.4 데이터 설명	4
2.5 비용 함수	8
3 경제 성장 분석	11
3.1 녹색 성장 회계	11
3.2 파산 문제	12
3.3 경제 성장률 비교	16
4 결론	18
참고문헌	19
부록	21
Abstract	22

표 목 차

[표 1] 부문·업종의 온실가스 배출전망치(BAU)	6
[표 2] 부문·업종의 연도별 감축률	7
[표 3] 샵플리 밸류를 이용한 초기 탄소배출량 할당	10
[표 4] 협조적 게임의 해의 배분 결과	15
[표 5] 경제 성장률	16

1 서론

탄소배출권제도는 탄소배출 감축목표를 달성하기 위하여 탄소를 배출할 수 있는 권리를 거래할 수 있도록 하는 제도로서 교토의정서(Kyoto Protocol)에 그 근거를 두고 있다. 한국 정부는 교토의정서(Kyoto Protocol)에 의거하여 2013년도부터 “저탄소, 녹색성장”이라는 슬로건 아래, 온실가스 감축을 의무적으로 시행하고 있다.

구체적이고, 범세계적인 법적 구속력을 갖는 새로운 기후협약을 위해, 지난 2016년 11월 4일부터 제 21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21)에서 채택된 파리협정이 발효되었다. 기후변화협약은 지구 온난화를 규제 및 방지하기 위해 맺어진 국제협약으로, 정식 명칭은 ‘기후변화에 대한 유엔 기본협약’이다. 협약의 목적은 이산화탄소를 비롯한 온실가스의 방출을 제한하고 프레온가스, 메테인가스, 탄산 등의 유해물질을 규제하는 것이다.

의무시행 연도 이전인 2009년부터 한국 정부는 매년 탄소배출권의 목표를 설정하였다. 환경부에 따르면 산업부문에서 2018년도 감축해야하는 탄소배출량은 배출전망치(BAU : Business As Usual)의 13.7% 감축, 2019년도 감축률은 배출전망치의 16%, 2020년은 18.5%로 점진적으로 감축할 예정이다. (2020년 이후 2030년 로드맵은 발표예정이다, 2017. 11. 28. 기준)

산업혁명 이래로 경제성장에 미치는 요소는 자본, 노동, 에너지 등과 같은 생산요소였다. Stern (2006)에 따르면, 기후변화로 인한 경제 손실은 세계 평균 GDP의 5~20% 정도로 추정하고 있다.

많은 선진국들은 탄소 배출량의 감축을 위해서 탄소 배출권 거래제를 운영하고 있다. 거래제를 실시하는데, 어떠한 방법으로 초기 배출권을 할당해야하는지가 중요하다. 현재 우리나라에서는 과거 3개년 동안의 온실가스 배출량만을 고려하여 온실가스 배출권을 할당하는 그랜드파더링(Grandfathering) 방식과 과거 생산량과 생산품목을 기반으로 배출권을 할당하는 방식인 벤치마킹(Benchmarking) 방식을 사용하고 있다. 그러나 대부분의 산업에 적용되고 있는 그랜드파더링 방식은 과거 배출량이 많은 기업에게 더 많은 온실가스 배출권을 할당하며 기업의 온실가스 배출 감축 노력을 저해한다. 벤치마킹 방식은 한 산업 내 단일 상품에만

적용 가능하며, 계산하기 복잡하여 널리 쓰이지 않는 실정이다.

각 산업들의 요소들의 의존도가 서로 높기 때문에, 산업 간의 연관성을 고려하는 것이 중요하다. 산업 간 연합 내에서 한계 기여도가 높은 산업에게 배출권을 더 많이 할당해야 한다는 것이 이 논문의 요지이다.

아직까지는 배출권 거래와 산업 수준에서의 연구가 부족하다. Nordhaus와 Yang (1996)은 지구 온난화를 해결하는 방안으로 기후 경제에 대한 지역 통합 모델 (the Regional Integrated model of Climate and the Economy (RICE) model)을 사용하여, 각 다른 지역의 기후 특성을 반영하여 탄소세를 부과하는 방법을 제시하였다. Viguier, et al (2006)은 양면게임모델 (two-level game model)을 적용하여, 유럽 연합 내 각기 다른 나라들 간 탄소배출권 거래 양상을 분석하여 유일한 해를 도출하였다. 협조적 게임이론을 이용하여 탄소배출권 할당하는 방법을 제시한 논문은 다음과 같다. 박선영 (2011)은 협조적 게임에서 많이 쓰이는 파산기업의 자산 분배 문제로 접근하여 초기 탄소배출권을 할당하였다. 그리고 녹색성장회계 (Green growth accounting) 방법으로 초기 탄소배출권의 효과에 대해 경제 성장에 미치는 영향을 분석하였다. Granot(2016)은 산업 별 연관성을 고려하여, 산업이라는 node와 산업 간 연관성을 나타내는 정도를 반영한 link로 이루어진 트리를 그려냈다. 트리가 주어진 상태에서, node와 arc를 고려하여, 샤플리 밸류로 초기 탄소배출권을 할당하였다.

이 논문은 4개의 절로 이루어져 있다. 섹션 2는 초기 탄소배출권 할당하는 방법으로 샤플리 밸류를 제시한다. 샤플리 밸류와 비용 함수에 대해 정의하고, 협조적 게임이론에서 제일 중요한 코아와 안티코아를 살펴본다. 이 연구에서는 안티코아가 존재함을 확인하였다.

섹션 3는 녹색 성장 회계 (Green growth account)를 이용하여 할당된 탄소배출권이 경제 성장에 기여하는 정도를 분석하겠다. 협조적 게임이론을 적용한 또 다른 방법인, 파산 게임의 자산 배분 문제를 이용하여 경제 성장에 미치는 영향과 비교 및 분석하겠다. 섹션 4는 결론으로 이루어져있다.

2 연구 모형

2.1. 연구 모형

$N = \{1, 2, \dots, n\}$ 으로 경기자들의 집합으로 표시되고 s 는 유한한 자연수이다. N 의 임의의 부분집합 S 을 연합(coalition)이고, $|S| = s$ 로 연합 S 에 속한 경기자들의 수를 표시하겠다. 여기에서는 산업을 경기자라고 하겠다. 각 경기자들은 연합을 하는 상황에 따라 각자 부담하는 비용을 결정하게 된다. 이때 비용을 탄소배출권이라 정의하겠다.

모든 연합 S 에 대하여 비용 함수 c 를 정의하면, 연합 S 의 비용 $c(S)$ 은 연합 S 에 속한 경기자들이 부담하게 되는 비용을 나타낸다. 만약 연합 S 가 어떤 경기자도 포함하지 않으면 비용을 0으로 가정한다. 수식으로 $c(\emptyset) = 0$ 로 표시한다.

협조적 게임에 있어서 서로 분리된(disjoint) 임의의 두 연합이 서로 협조하게 되는 동기는 협조한 비용이 각 연합이 부담하는 비용의 합보다 작기 때문이다. 따라서 비용함수 c 는 하위가산성(subadditivity)을 충족시킨다. 수식으로 표현하면 $c(S \cup T) \leq c(S) + c(T)$ 이며 여기서 $S \cap T = \emptyset$ 이다. 이때 이 조건을 충족시키는 비용함수 c 를 비용배분 게임의 특성함수(characteristic function)라고 부른다.

다음은 함수 $\phi: c \rightarrow R$ 를 정의한다. $\phi_i(c)$ 는 비용함수가 v 일 때, 경기자 i 에게 배분된 비용을 나타낸다. 벡터 $\phi(c) = (\phi(c))_{i \in N}$ 는 모든 경기자 i 에게 배분된 비용의 벡터 값이다. 이때 ϕ 를 비용배분 방법(cost allocation method)이라고 한다.

2.2 샐플리 벨류

샐플리벨류는 Shapley가 제기한 협조적 게임의 해로써 참가한 경기자 i 의 한계비용에 근거하여 비용을 배분하는 방법이다. 경기자 i 가 받게 되는 비용은 각 연합에 대하여 그 경기자 i 의 추가로 발생하게 되는 한계비용의 가중 평균치다. 그 중 연합 S 의 가중치는 임의의 배열에서 경기자 i 보다 연합 S 이 먼저 형성되고 그 뒤에 $N(S \cup \{i\})$ 가 올 확률로

$[s!(n-s-1)!]/n!$ 가 된다. 그러므로 비용함수 c 와 모든 경기자 i 에 대하여 샤플리 밸류는 다음과 같이 정의 된다.

<정의 1>

$$Sh_i(v) = \sum_{s=0}^{n-1} \frac{s!(n-s-1)!}{n!} \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}, |S|=s} [v(S \cup \{i\}) - c(S)]$$

2.3 코아와 안티 코아

비용배분 문제에 있어서 게임 v 의 코아가 공집합이 되지 말아야 한다. 그렇지 아니할 경우, 어떠한 하위 집단(subgroup) S 이 존재하여 전체 연합 N 을 형성하는 것보다 더욱 이익을 누릴 수 있다는 것을 뜻한다. 즉 코아가 존재하려면 게임의 해 x 는 다음과 같은 수식을 만족해야 한다.

$$\sum_S x_i \geq v(S) \text{ for all } S \subset N, \sum_N x_i = v(N)$$

안티 코아(Anti-core)는 그 반대다. 안티 코아가 존재하려면 게임의 해 X 는 다음과 같은 수식을 만족해야 한다.

$$\sum_S x_i \leq v(S) \text{ for all } S \subset N, \sum_N x_i = v(N)$$

대응되는 비용게임으로 전환하려면 $y_i = c(i) - x_i$ 를 통하여 전환하면 된다.

2.4 데이터 설명

환경부에서 분류한, 탄소배출권 할당 산업은 20개이다. 정유, 광업, 철강, 시멘트, 석유화학, 제지목재, 섬유, 요업, 비철금속, 기계, 전기/전자 에너지부문, 전기/전자 비에너지부문, 디스플레이, 반도체, 자동차 에너지부문, 자동차 비에너지부문, 조선, 기타제조, 음식료품, 건설업 등이다. 정

부가 설정한 배출전망치 (BAU, Business As Usual)와 전년 대비 탄소 배출권 목표 감축률은 [표1], [표2]와 같다.

[표 1] 부문·업종의 온실가스 배출전망치(BAU)

(단위 : 백만톤 CO₂e)

부문	업종		2017	2018	2019	2020
산업	정유		16.4	16.4	16.5	16.6
	광업		0.7	0.7	0.7	0.6
	철강		115.8	116.2	116.5	116.9
	시멘트		40.7	40.7	40.7	40.8
	석유화학		57.1	58.0	58.8	59.6
	제지목재		7.6	7.5	7.4	7.3
	섬유		9.7	9.6	9.4	9.3
	요업		5.1	5.1	5.2	5.2
	비철금속		4.7	4.7	4.8	4.8
	기계		12.0	12.2	12.3	12.4
	전기 전자	에너지	11.3	11.4	11.4	11.5
		비에너지	28.5	28.7	29.0	29.3
	디스플레이		42.5	51.0	60.4	70.2
	반도체		12.7	13.2	13.7	14.2
	자동차	에너지	8.0	8.1	8.2	8.2
		비에너지	3.5	3.5	3.6	3.6
	조선		3.2	3.3	3.4	3.6
	기타제조		16.3	16.2	16.2	16.1
	음식료품		6.1	6.0	5.9	5.8
	건설업		2.8	2.9	2.9	3.0
	소계		404.7	415.4	427.1	439.0

[표2] 부문·업종의 연도별 감축률

(단위 : %)

부문	업종		2017	2018	2019	2020
산업	정유		3.6	4.5	5.8	7.5
	광업		1.2	1.8	2.6	3.9
	철강		3.7	4.5	5.5	6.5
	시멘트		5.4	6.4	7.4	8.5
	석유화학		4.6	5.6	6.6	7.5
	제지목재		4.1	4.8	5.8	7.1
	섬유		1.9	2.8	4.2	6.3
	요업		1.3	1.8	2.7	4.0
	비철금속		1.3	1.9	2.8	4.1
	기계		2.3	3.4	5.1	7.6
	전기/ 전자	에너지	2.4	3.6	5.3	7.9
		비에너지	60.8	68.5	76.2	83.9
	디스플레이		30.9	33.6	36.4	39.5
	반도체		20.6	22.7	25.0	27.7
	자동차	에너지	2.4	3.5	5.2	7.8
		비에너지	66.0	74.0	82.0	90.0
	조선		2.3	3.3	4.7	6.7
	기타제조		0.5	0.8	1.1	1.7
	음식료품		1.5	2.2	3.4	5.0
	건설업		5.3	5.9	6.5	7.1
	소계		11.6	13.7	16.0	18.5

여기에서 눈에 띄는 것은 전기/전자 비에너지 부분이다. 2020년까지 감축률을 60% 이상 목표달성한 이유를, 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵(2014, 환경부) 에서 다음과 같이 밝혔다. 불소계 가스 회수 및 공통 기기 효율 개선 등으로 2020 BAU 40.74백만톤 대비 25.46백만톤(62.5%)을 감축할 수 있다. 그 이유는 기술의 발달로 중전기기 SF₆(육불화황) 90% 회수로 20.13백만톤 (49.4%) 감축할 수 있고 가전제품(냉장고, 에어컨) 용 냉매로 사용되는 HFC_s(수소불화탄소) 회수 (2020년, 64% 회수)를 통하여 4.42백만톤 (10.9%) 감축¹⁾ 할 예정이기 때문이다. 특히나 불소계 가스 회수 및 공통 기기 효율 개선으로 탄소배출량을 크게 감소할 수 있는 산업은 전기 전자 산업 뿐만 아니라 전자표시(디스플레이), 자동차, 반도체 산업에도 해당한다.

Granot(2016)은 산업 간 연관성을 고려하여, 그래프로 그렸다. 하지만 실제로는 산업끼리의 연관성이 일방적이거나, Link로 연결되어 있지 않는 산업과 연관성이 없는 가정은 비현실적이다. 여기에서는 모든 산업이 연합할 수 있음을 가정한다.

2.5 비용 함수

$N=1,2,3,...,n$, $|N|=20$, N 은 산업들의 집합이고, 산업의 개수는 20개이다. 모든 산업 i 에 대해서, e_i 를 산업 i 이 배출하는 탄소배출량 전망치라고 하겠다. 여기에서는 환경부가 고지한 2018년도 배출전망치 데이터를 사용하였다. p 는 정부에서 설정한 2018년도 전체 산업의 목표 감축률이다. 2018년 전체 산업의 목표 탄소배출량은 E 라고 하겠다. 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$E = \sum_{i \in N} e_i^* (1 - p)$$

E 가 주어졌을 때, N 의 임의의 부분집합 S 에 대해서, 연합 S 의 탄소배출량은 연합 S 안에 속해있는 산업들의 탄소배출량의 합과 전체 산업의 목표 탄소배출량 값 중에 작은 값으로 해야 한다는 것이다. 연합 S 가

1) 법적 근거: 전기, 전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률 (EPR)

배출할 수 있는 탄소배출량은 정부가 설정한 목표 탄소배출량보다는 작아야한다는 것이다. 즉, N 의 임의의 부분집합 S 에 대해서, 비용 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$v(S) = \min\{\sum_{i \in S} e_i, E\}$$

위의 값으로 샵플리 밸류를 계산하게 되면 다음 <표 3> 와 같다. 가장 2018 BAU 배출량이 많은 철강 산업을 제외하고, 나머지 모든 산업들이 10%에서 17% 정도 일정한 감축률을 보이는 것으로 나타났다. 기존의 방법으로 할당한 결과, 감축률이 자동차 산업, 전기 전자 산업에만 집중되어 있지만, [표 3]에서 나타난, 샵플리 밸류로 감축률을 계산한 결과, 다른 산업들의 연관성을 고려하여 일정하게 분배된 것으로 보인다.

또한 샵플리 밸류로 탄소배출량을 할당한 결과, 샵플리 밸류가 안티 코아에 속해있음을 확인하였다.

[표 3] 샤프리 밸류를 이용한 초기 탄소배출량 할당

(단위 : 백만톤 CO₂e)

부문	업종		2018 BAU	샤프리 밸류	감축률
산업	정유		16.4	13.8	0.16
	광업		0.7	0.6	0.17
	철강		116.2	109.9	0.05
	시멘트		40.7	35.1	0.14
	석유화학		58	51.2	0.10
	제지목재		7.5	6.3	0.16
	섬유		9.6	8.1	0.16
	요업		5.1	4.2	0.17
	비철금속		4.7	3.9	0.17
	기계		12.2	10.1	0.16
	전기 전자	에너지	11.4	9.5	0.16
		비에너지	28.7	24.2	0.15
	디스플레이		51	36.8	0.13
	반도체		13.2	10.7	0.16
	자동차	에너지	8.1	6.7	0.16
		비에너지	3.5	2.9	0.17
	조선		3.3	2.7	0.17
	기타제조		16.2	13.7	0.16
	음식료품		6	5.1	0.17
	건설업		2.9	2.3	0.17

3 경제 성장 분석

3.1 녹색 성장 회계 (Green growth accounting)

일반적인 경제 성장 이론에서 경제 성장에 미치는 요소로서 노동, 자본, 그리고 인적 자본이 주로 포함된다. 총요소생산성(Total Factor Productivity, TFP)은 전체 투입 요소를 고려하여 생산의 전반적인 효율성을 측정한다. 총요소생산성은 노동, 자본 등 단일 요소 생산성 측정은 포함되지 않는 기술, 노사, 등이 포함된다. 하지만 환경 위기와 기후 변화 등이 고려되지 않는 한계점을 지니고 있다.

Bovenberg 와 Smulders(1995) 는 내생 성장 모형에서 환경의 질과 경제 성장의 관계를 분석하였다. Bye(2002)는 일반균형모형을 이용하여 환경 정책이 경제 성장에 미치는 영향을 분석하였다.

Tzouvelekas et al(2007)은 환경적 요소로써 CO2 배출량 데이터를 사용하고, TFP 성장률을 측정하는 녹색 성장 모델을 제안하였다. 1965년부터 1999년까지의 미국과 23개 OECD국가의 경제성장을 분석하였다.

경제 성장의 한 요소로서 환경을 고려하면, 녹색 총요소생산성 (environmentally adjusted TFP; Green TFP) 은 다음과 같이 계산된다.

$$TFP = \dot{Y} - s_K \dot{K} - s_L \dot{L} - s_Z \dot{Z}$$

\dot{TFP} : 녹색 총요소생산성의 성장률

\dot{Y} : 2010년 기준 실질 GDP 성장률 (백 만원 단위)

\dot{K} : 2010년 기준 실질 자본 성장률 (백 만원 단위)

\dot{L} : 근로자 증가율 (천명 단위)

\dot{Z} : 탄소배출량 증가율 (t-Co2)

s_K : 자본 분배율

s_L : 노동 분배율

s_Z : 에너지 투입분배율

GDP 성장률, 자본 성장률, 근로자 수, 자본 분배율, 노동 분배율은 한국생산성본부의 2013, 2014년도 통계 데이터를 사용하였다. 그리고 산업별 탄소배출량은 환경부 데이터를 사용하였다. 이 연구에서 고려하는 기간은 2013년도부터 2014년도까지다. 기존의 성장 회계 모델과는 다르게 환경 성장 요소를 포함하였다는 것이 특징이다.

3.2 파산 문제 (Bankruptcy problem)

이 장에서는 샤프리 밸류와 파산 문제에서의 배분방법의 경제적 과급효과를 비교 분석 하겠다.

박선영, 김동구 (2011)은 탄소배출권을 협조적 게임이론인, 파산 문제 (Bankruptcy problem) 에서의 배분방법을 적용해 배출권을 각 산업별로 배분하였다. 세 가지 분배방법에 따른 경제적 과급효과 분석에는 녹색성장회계 방식이 적용되었다.

파산 문제는 파산 기업의 자산 배분 문제로, 협조적 게임에서 널리 응용되고 있는 비용 배분 문제 중 하나이다. Thompson(2009)는 어떤 기업이 파산하는 경우, 파산기업의 자산을 채권자들에게 배분하는 방식에 대한 문제에 대해 세 가지 룰을 고안하였다. 파산 문제는 경기자들이 요구하는 클레임이 있고, 사용가능한 재화의 양은 클레임의 합보다 작은 상황일 때 적용 가능하다.

여기에서 20개의 산업들을 경기자들의 집합이고, 그들의 탄소배출량을 클레임이라고 하겠다. 탄소배출량을 감축하기 위하여, 한국 정부는 경기자들의 클레임보다 적은 배출권을 할당해야 한다.

세 가지 룰은 Proportion rule(P), Constrained Equal Awards rule(CEA) 그리고 Constrained Equal Losses rule (CEL)이다.

Proportion rule(P)은 경기자들에게 경기자들의 클레임에 비례하여 비용을 분배하는 방법이다. 여기에서는, 각 산업들이 탄소배출량에 비례하여 초기 탄소배출권을 할당 받는 것이다.

<정의 2> Proportion rule (P) : 파산 문제에서, 모든 (Claims, endowment) 그리고 모든 경기자 $i \in N$ 에 대하여

$$P_i(Claims, endowment) \equiv \lambda c_i$$

$\lambda \in R_+$ 는 효율성을 만족하기 위하여 채택된다.

Constrained Equal Awards rule (CEA) 는 주어진 재화량을 균등하게 분배하는 것으로 출발한다. 만약 본인의 클레임보다 더 분배 받은 경기자가 없다면, 균등하게 분배 받는다. 그렇지 않으면, 적어도 한 명의 경기자가 클레임보다 더 받게 될 것이다. 그럴 경우, 균등 분배의 양과 해당 경기자의 클레임의 차를 계산한다. 클레임의 차를 모두 합산하여 클레임보다 적게 분배 받은 경기자들에게 균등하게 재분배한다.

<정의 3> Constrained Equal Awards rule (CEA): 파산 문제에서, 모든 (claims, endowment) 와 모든 경기자 $i \in N$ 에 대하여

$$CEA_i(claims, endowment) \equiv \text{Min}\{c_i, \lambda\}$$

$\lambda \in R_+$ 는 효율성을 만족하기 위하여 채택된다.

Constrained Equal Losses rule (CEL)은 CEA 룰이랑 정반대다. 크기가 큰 클레임을 주장하는 경기자는 CEL을 선호한다. 왜냐면 CEL은 균등 손실을 보장하기 때문이다.

<정의 4> Constrained Equal Losses rule (CEL) : 파산 문제에서 모든 (claims, endowment) 와 모든 경기자 $i \in N$ 에 대하여

$$CEL_i(claims, endowment) \equiv \text{Max}\{c_i - \lambda, 0\}$$

$\lambda \in R_+$ 는 효율성을 만족하기 위하여 채택된다.

세 가지 룰과 샤플리 밸류(Sh)에 의해서 20개 산업에게 할당하는 초기 배출권의 크기는 다음과 같다.

[표 4] 협조적 게임의 해의 배분 결과

(단위 : 백만톤 CO2e)

부문	업종	2014	Sh	P	CEA	CEL
산업	정유	16.1	15.73	15.83	16.10	15.78
	광업	0.8	0.75	0.79	0.80	0.48
	철강	110.3	109.93	108.42	103.94	109.98
	시멘트	40.5	40.13	39.81	40.50	40.18
	석유화학	54.5	54.13	53.57	54.50	54.18
	제지목재	7.9	7.53	7.77	7.90	7.58
	섬유	10.3	9.93	10.12	10.30	9.98
	요업	5.1	4.80	5.01	5.10	4.78
	비철금속	4.6	4.32	4.52	4.60	4.28
	기계	11.6	11.23	11.40	11.60	11.28
	전기/ 전자	에너지	11.1	10.73	10.91	11.10
		비에너지	27.4	27.03	26.93	27.08
	디스플레이	23.1	22.73	22.71	23.10	22.78
	반도체	11.2	10.83	11.01	11.20	10.88
	자동차	에너지	7.8	7.43	7.67	7.80
		비에너지	3.3	3.10	3.24	3.30
	조선	2.8	2.63	2.75	2.80	2.48
	기타제조	16.5	16.13	16.22	16.50	16.18
	음식료품	6.3	5.93	6.19	6.30	5.98
	건설업	2.6	2.44	2.56	2.60	2.28

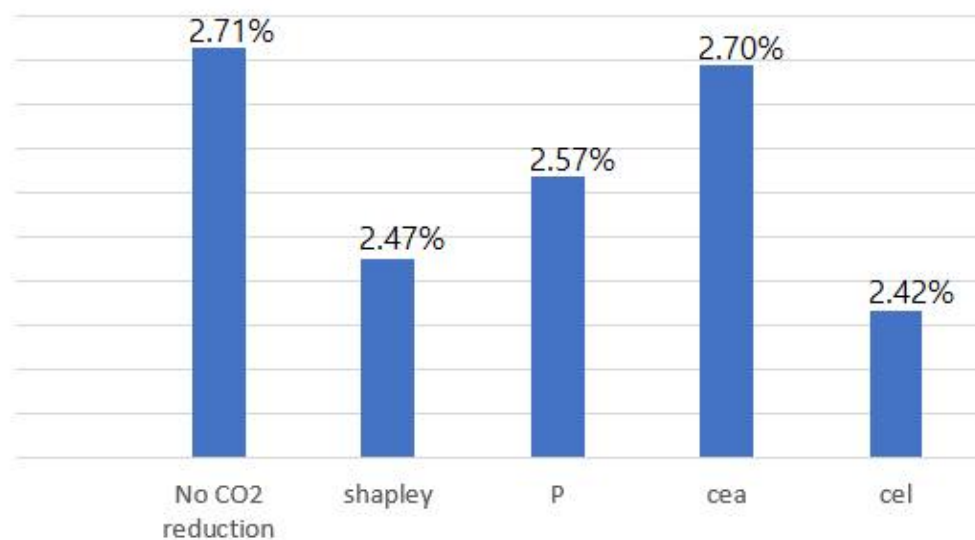
CEA 룰에 의해, 철강 산업을 제외한 모든 산업은 2014년도 배출량 수준으로 할당받는다. 왜냐하면 다른 어떤 산업보다 탄소배출량이 높기 때문이다. 따라서 철강 산업은 103.94 t-tons (2014년 배출량 수준의 94%) 만 할당받는다.

CEL 룰에 의해, 다른 어떤 산업보다 광업 산업의 배출량 수준이 상대적으로 낮다. CEL 룰에 의하면 크기가 큰 클레임을 한 경기자들이 어느 정도의 양을 분배받을 수 있기 때문이다.

3.3 경제 성장률 비교

산업 별 초기 탄소배출권을 샵러리 밸류와 그리고 파산 게임에서의 비용배분 방법으로 할당해보았다. 녹색 성장 회계를 이용하여 경제 성장률을 각각 방법으로 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다

[표 5] 경제 성장률 비교



탄소 감축을 실시하지 않을 경우 경제 성장률은 2.71%로 나타났다. 그리고 CEA, P, 샤프리 밸류, CEL 순으로 경제성장률이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

탄소배출권을 할당할 때 산업 간 연합을 고려해야 하기에 샤프리 밸류는 임의의 연합 내 경기자의 한계 비용에 대해서 반영한다는 점에서 의의가 있다.

4 결론

본 연구는 탄소배출권 거래 제도 아래, 산업 별 초기 탄소 배출량을 할당하기 위한 방법으로 협조적 게임이론으로 접근하였다. 2020년 목표로 삼고 있는 탄소배출량의 감축을 위하여 제시한 2018년도 목표 감축량을 기준으로 삼았다. 환경부에서 지정한 탄소배출권 할당 대상에 해당하는 20개의 산업에 대해서 협조적 게임의 해인 샤플리 벨류(Shapley Value)로 초기 탄소 배출권을 할당하였다. 이 게임에서 안티 코어(Anti core)가 존재함을 확인하였다.

또한 녹색성장회계 (Green growth accounting) 방법을 사용하여, 샤플리 벨류로 할당된 탄소 배출권을 반영하여 경제 성장에 미치는 영향을 살펴보았다. 그 결과 경제성장률은 2.47% 인 것으로 확인되었다.

샤플리 벨류와 비교하기 위하여 기존 논문 박선영,김동구 (2011)에서 파산 문제를 해결하는 세 가지 방법으로 산업 별 초기 탄소배출권을 할당하였다. 세 가지 방법은 Proportion rule (P), Constrained Equal Awards rule (CEA), 그리고 Constrained Equal Losses rule (CEL)이다. 탄소 감축을 실시하지 않을 경우 경제 성장률은 2.71%로 나타났다. 그리고 CEA, P, 샤플리 벨류, CEL 순으로 경제성장률이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

초기 탄소배출권의 산업 별 배분방식이 어떻게 결정되느냐에 따라서 경제 성장에 미치는 효과가 다르게 나타난다. 초기 배출권 할당에 앞서 산업 간의 연관성을 반영한 연구결과를 반영해야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. Bernard, A, Haurie A, Vielle M, Viguiers, L, "A two-level dynamic game of carbon emission trading between Russia, China, and Annex B countries," Journal of Economic Dynamics & Control 32, 2008, pp 1830 - 1856
2. Bovenberg, A. L and S. smulders, "Environmental Quality and Pollution Aumenting Technological Change in a Two sector Endogenous Growth Model," Journal of Public Economics 57, 1995, pp 369~391.
3. Bye, B., "Taxation, Unemployment, and Growth : Dynamic Welfare Effects of Green Policies," Journal of Environmental Economics and Management, vol. 43, issue 1, 2002, pp. 1~19.
4. Dagan, Nir, Voli Oscar, "The bankruptcy problem: A cooperative bargaining approach," Mathematical Social Sciences, vol. 26, 1993, pp 287~297
5. Gopalakrishnan, S, Granot, D, Granot, F, Socic, G, Cui, H, "Allocation of Greenhouse Gas Emissions in Supply Chains", working paper, 2016
6. Kampas, Athanasios and Ben White, "Selecting Permit Allocation Rules for Agricultural Pollution Control : A Bargaining Solution," Ecological Economics 47, 2003 pp 135~147
7. Lloyd, S. S. "A Value for n-person Games. Annals of Mathematics Studies" 28, 1953, pp 307-317.

8. Park Sunyoung, Kim Dongkoo, “Analysis of the Impact of Initial Carbon Emission Permits Allocation on Economic Growth”, *Environmental and Resource Economics Review*, vol.20, 2011, pp 167~198
9. Pyo, H. Kil, Dongkoo Kim and Jae Hwan Park, “Green Growth Accounting and Structural Decomposition Analysis”, *Journal of Korean Economics Analysis*, vol 16, No.2, Korea Institute of Finance, 2010.
10. Shapley, L. S., & Shubik, M. “Characteristic function, core, and stable set,” *Game theory in Economics*, vol 6 1973
11. Stern, N., *Stern Review on the Economics of climate change*, 2006.
12. Thomson, W, “Game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems: Recent advances”, *International game theory review*, vol. 15, 2013, p.1340018
13. Tomson, W, “How to divide when there isn’t enough”, mimeo, 2009.
14. Tzouvelekas, V., D. Vouvaki and A. Xepapadeas, “Total Factor Productivity Growth and the Environment: A case for Green Growth Accounting,” *FEEM working paper*, 2007.

부록

한국의 2013~2014년도 Green TFP

부문	업종		Growth rate	Growth Factors			
				Capital	Labor	Environment	TFP
산업	정유		5.13	5.15	-23.65	23.59	0.04
	광업		0.05	-1.83	-15.70	17.54	0.04
	철강		1.23	5.71	-7.51	3.01	0.01
	시멘트		1.51	3.70	0.00	-2.20	0.01
	석유화학		4.87	2.96	1.29	0.57	0.04
	제지목재		4.80	4.39	-4.31	4.68	0.05
	섬유		-1.54	2.78	-1.29	-3.02	-0.02
	요업		1.51	3.70	0.00	-2.20	0.01
	비철금속		1.23	5.71	-7.51	3.01	0.01
	기계		2.68	5.70	1.54	-4.58	0.02
	전기 / 전자	에너지	3.04	4.84	2.12	-3.94	0.02
		비에너지	3.04	4.84	2.12	-3.94	0.02
	디스플레이		2.30	4.75	-3.62	1.15	0.02
	반도체		2.36	6.65	1.54	-5.84	0.01
	자동차	에너지	4.13	5.20	3.18	-4.28	0.03
		비에너지	4.13	5.20	3.18	-4.28	0.03
	조선		1.19	5.14	-0.54	-3.41	0.01
	기타제조		10.82	5.12	-2.84	8.43	0.11
	음식료품		1.61	4.06	-1.45	-1.01	0.01
	건설업		0.22	4.31	-4.92	0.81	0.01
	소계		2.71	4.40	-2.92	1.20	0.02

Abstract

Allocation initial carbon emission permits and analysis of the impact on economic growth.

Soomin Sohn

Department of Economics & Economics

The Graduate School

Seoul National University

Korean government announced greenhouse gases emissions reduction target as 18.7 percent of business as usual emission projection to 2020. There are mainly two categories of options for the allocation principle; grandfathering and benchmarking. In this study deals with the allocation of initial carbon emission permits in Korea industry using Shapley value . We check the existence of anti-core. The anti-core is non-empty.

We introduce green growth accounting methodology which incorporates the contribution of environmental factors in economic growth. The effectiveness of allocation rules is examined through green growth accounting. we compare the results of value added growth with P, CEA, and CEL rules. Initial carbon emission permits should reflect the characteristic of each industry.

keywords : cooperative game, cost allocation, Shapley value, core, anti-core, emission permits

Student Number : 2015-20160